

## 発明の名称

### セル駆動型アクチュエータ及び製造方法

#### 発明の背景および関連技術

【0001】 本発明は、セル駆動型の圧電／電歪アクチュエータに関する。より詳細には、2つの圧電／電歪体により個々に独立して形成されたセルを有し、圧電／電歪体の分極電界と同一方向にかけられた駆動電界により、セルを形成する圧電／電歪体の変位するセル駆動型アクチュエータに関する。

【0002】 従来知られた圧電／電歪アクチュエータとして、例えば、シエアモード方式で駆動されインクジェットヘッドで使用される圧電／電歪アクチュエータがある。これは、図7に示すような構造の圧電／電歪アクチュエータ71であり、基板72上に、櫛歯76であって駆動部74である複数の圧電／電歪体が、櫛歯状に形成され、櫛歯76の間のスリット75を蓋板77で閉じて、概ね長方形のセル73を形成している。この圧電／電歪アクチュエータ71の櫛歯先端の開口部を、ノズル8を有するノズル板9で閉塞し、セル73をインク室として用いるインクジェットヘッド70を構成し、圧電／電歪材料からなり駆動部74である櫛歯76の分極電界方向と直交する方向に駆動電界をかけて、櫛歯76を変形させることによって、セル73の体積を変化させ、セル73に充填されたインクを吐出させることが出来る。

尚、圧電／電歪体の分極電界方向と直交する方向の駆動電界により変位を生じさせる駆動方式をシエアモード方式という。

【0003】 このような圧電／電歪アクチュエータ71は、図8(a)～図8(e)に示す手順で作成されていた。

まず、図8(a)で圧電／電歪材料86を用意し、図8(b)で焼成する。そして、図8(c)で分極処理し、図8(d)でダイシングソー等を用い微細なスリット形成加工を行って、駆動電界により変位を生じる駆動部74を、インクを収容する空間となる複数のスリット75を挟んで、櫛歯状に、整列して形成し、

図8(e)でスリット75内の壁面に電極88を形成する。その後、図7に示すように、ガラス板等からなる盖板77を取り付け、ノズル8を有するノズル板9で櫛歯先端の開口部を閉塞して、インクが充填されるセル73を形成していた。

【0004】 しかし、このような製造方法は、焼成した固い圧電／電歪材料を機械加工するため、次のような問題があった。

第1の問題は、セルを構成するスリット加工に時間がかかり、量産性に適していないことである。

第2の問題は、スリット加工後は加工用遊離砥粒や加工液で汚染されるため、十分な洗浄工程が必要であるが、スリット加工後の強度は低下するため、満足いく洗浄を行うには複雑な工程となる上に、乾燥工程も必然的に生じ、更には、洗浄用水及び排水に係る設備及び管理が必要となり、コストが増大することである。

【0005】 第3の問題は、インクが充填されるセルを構成するスリットは、加工に使用されるダイサーブレードの刃厚で制限を受け、概ね60  $\mu\text{m}$ 以下の幅には加工出来ず、櫛歯即ち駆動部の厚さも、ダイサーブレードの切削強度が必要であるためスリットの深さに対して限界値が自ずと決定され、例えばアスペクト比が10以上の、高アスペクト比なセルを形成することが困難なことである。そのため、高密度、あるいは、高強度、高出力のアクチュエータを得ることが出来難い。

尚、一般にアスペクト比とは、孔が円筒形の場合に、その直径と軸長の比をいい、孔が円筒形でない場合、例えば、図8(d)に示される、後に閉じられセルとなるスリット75においては、スリット75を形成し対向する2つの櫛歯76の最短距離、即ち、スリット75の幅と、スリット75の深さとの比をいう。高アスペクト比なセルとは、幅に比べて深さの大きなスリットを有するセルを指す。

【0006】 第4の問題は、ダイサーブレードにより加工するため、直線的、平面的スリット加工しか出来ず、セルを複雑形状にするときには、後工程で部品の接着等を行う必要が生じることである。又、直線的加工を行う結果、駆動時にはノズル板接合端まで圧電応力変形が生じてしまい、接合面の耐久性が低下し易

い。

第5の問題は、焼成後に切削加工によりスリットを形成するため、櫛歯状の駆動部74側面は凸凹になり易く、セルの特性劣化が生じ易いことである。図9(a)、図9(b)は、この説明図であり、図9(a)は、図8(d)のQ視端面図、図9(b)は、図9(a)のN部の拡大断面図を示している。ダイシングソールによる切削加工では、櫛歯状の駆動部74(櫛歯76)側面は、加工によるマイクロクラックや、特性の低下した粒内破壊粒子が存在し、セルを駆動させたときに、材料本来の性能が得られなかったり、マイクロクラックが伸展し、素子そのものの破壊したりすることもある。

【0007】 又、従来の圧電/電歪アクチュエータ71には、シェアモード方式で駆動されるが故の問題も抱えていた。

第5の問題に引き続き第6の問題は、焼成し、分極処理を施した後は、圧電/電歪材料の分極が解けてしまうキュリー温度以上の加熱を伴う製造プロセスが適用出来ないことである。従って、アクチュエータを、例えば回路基板に固定・結線する際に、はんだリフロー等によるはんだ付けや加熱接着が行えないか、若しくは、温度の制約を受け、スループットの低下を導き、製造コストの上昇を招く。又、レーザー加工等、熱を発する加工も制約を受ける。

【0008】 更に、第7の問題として、分極電界方向と直交する方向に駆動電界を生じさせるため、分極状態が変化してしまう高い電界強度では駆動出来ず、高い歪み量が得られないことが挙げられる。高い駆動電界強度を生じさせれば、駆動中に徐々に分極状態が変化してしまい、やはり、歪み量の低下をもたらす。従って、アクチュエータとしての基本性能が低下する。

【0009】 更に、従来の圧電/電歪アクチュエータ71には、上記した製造方法に起因する問題、シェアモード方式で駆動されるが故の問題に加えて、基板、駆動部と、蓋板が一体で成形される構造に起因する問題もあった。

【0010】 第8の問題は、隣接するセルに同じ動作をさせることが出来ないことである。図15は、圧電/電歪アクチュエータ71の停止状態と駆動状態の一例を示す断面図である。駆動電界がOFFの時には、圧電/電歪体である駆動部74は変形しておらず、所定の駆動部74に対して駆動電界をONにすると駆動

動部74が変形する。図15より明らかなように、1つの駆動部74が2つのセル73の駆動部を兼ねているため、一方のセルの体積が膨らんだときには、隣接するセルの体積は減少する。例えば、圧電/電歪アクチュエータ71を、図7で示すインクジェットヘッド70として用いた場合に、隣接するセルから同時にインクを吐出させることが出来ない。従って、被吐出体に最小の間隔でインク粒を当てるのに、少なくとも2回の動作が必要となり、インク吐出処理速度の向上の観点から好ましくない。

#### 発明の概要

【0011】 本発明は、上記した問題点に鑑みてなされたものであって、高温加熱プロセスが適用出来、低コストで量産可能であって、スリット部分が直線形状以外のセルを有し、スリット部分が60  $\mu\text{m}$ 以下の幅のセルを有し、又、高アスペクト比なセルを有し、高い電界強度で駆動出来得て、更には、小さな電界強度で、より大きな変位を実現し得る、圧電/電歪アクチュエータと、その製造方法を提供することを目的とする。

圧電/電歪アクチュエータと、その製造方法について、検討が重ねられた結果、以下に示すセル駆動型アクチュエータ及び製造方法により、この目的が達成されることが見出された。

【0012】 即ち、本発明によれば、基板上に複数の圧電/電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、圧電/電歪体の変位により駆動する圧電/電歪アクチュエータであって、隣接する2つの圧電/電歪体間の、基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されることを特徴とするセル駆動型アクチュエータが提供される。本発明においては、圧電/電歪体の分極電界と駆動電界とが、同一方向であることが好ましい。

【0013】 本発明のセル駆動型アクチュエータにおいては、セルの面の輪郭度が、概ね8  $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、セルを形成し隣接する圧電/電歪体間の最短距離と、基板と蓋板との最短距離との比が、概ね1:2~1:40であることが好ましい。又、セルと隣接するセルとの間隔と、基板と蓋板との最短

距離との比が、概ね $1:2 \sim 1:40$ であることが好ましく、セルを形成し隣接する圧電／電歪体間の最短距離が、概ね $60 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。更には、セルと隣接するセルとの間隔が、概ね $50 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0014】 又、本発明のセル駆動型アクチュエータにおいては、セルを形成し対向する圧電／電歪体の壁面の表面粗さ $R_t$ が、概ね $10 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。櫛歯状の圧電／電歪体の幅が、櫛歯奥から櫛歯先端に向けて変化していることも好ましく、セルを形成し隣接する圧電／電歪体の間隔、乃至、セルと隣接するセルとの間隔が、少なくとも2種類の間隔を有することも好ましい。

【0015】 更に、本発明によれば、上記したセル駆動型アクチュエータを用いる液体吐出デバイスであって、セルを液体加圧室とし、圧電／電歪体の分極電界と同一方向に駆動電界をかけて圧電／電歪体を変位させ液体室を変形させて、液体室に充填された液体を、櫛歯先端方向に吐出可能とする液体吐出デバイスが提供される。

【0016】 本発明により、以下に示す2つのセル駆動型アクチュエータの製造方法が提供される。

第1の製造方法は、パンチとダイを用いた、基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、隣接する2つの圧電／電歪体間の、基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されているセル駆動型アクチュエータの製造方法であって、圧電／電歪材料からなる複数のグリーンシートを用意し、パンチにより、全ての前記グリーンシートにスリット孔を開け、位置決めして全てのグリーンシートを積層し、櫛歯状の複数の圧電／電歪層を形成する過程を含むことを特徴とするセル駆動型アクチュエータの製造方法である。

【0017】 第2の製造方法は、パンチとダイを用いた、基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、隣接する2つの前記圧電／電歪体間の、前記基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されているセル駆動型アクチュエータの製造方法であって、圧電／電歪材料からなる複数のグリーンシートを用意し、パンチにより、第一のグリーンシート

に第一のスリット孔を開ける第一の工程と、第一のスリット孔からパンチを抜き取らない状態で、第一のグリーンシートをストリップに密着させて引き上げる第二の工程と、パンチの先端部が引き上げた第一のグリーンシートの最下部より僅かに引き込む程度に、パンチを引き上げる第三の工程と、パンチにより、第二のグリーンシートに第二のスリット孔を開ける第四の工程と、第二のスリット孔からパンチを抜き取らない状態で、第二のグリーンシートを第一のグリーンシートとともに引き上げる第五の工程と、パンチ先端部が引き上げた第二のグリーンシートの最下部より僅かに引き込む程度に、パンチを引き上げる第六の工程と、以降、複数枚のグリーンシートを第四の工程から第六の工程を繰り返して積層し、櫛歯状の複数の圧電／電歪層を形成する過程を含むことを特徴とするセル駆動型アクチュエータの製造方法である。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの一実施形態を示す斜視図である。

図2(a)～(e)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの製造方法の一例を示す概略工程説明図である。

図3(a)～(e)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの製造方法の他の一例を示す概略工程説明図である。

図4(a)～(e)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの製造方法の更に他の一例を示す概略工程説明図である。

図5(a)(b)は、図2(a)～(e)に示す本発明に係るセル駆動型アクチュエータの製造方法において、図5(a)は図2(d)のP視端面図であり、図5(b)は図5(a)のM部の断面拡大模式図である。

図6(a)～(e)は、図2(a)～(e)に示すグリーンシートのスリット孔打抜同時積層を行う方法の一例を示す工程説明図であり、

図6(a)は、ダイに最初のグリーンシートを載せた1枚目準備工程を示し、

図6(b)は、最初のグリーンシートの打ち抜き工程を示し、

図6(c)は、2枚目のグリーンシートを載せた2枚目準備工程を示し、  
 図6(d)は、2枚目のグリーンシートの打ち抜き工程を示し、  
 図6(e)は、全シートの打ち抜き、積層を終えてストリップにより積層したグリーンシートを離す打抜完了工程を示す図である。

図7は、従来の圧電／電歪アクチュエータを用いたインクジェットヘッドの一例を示す斜視図である。

図8(a)～(e)は、従来の圧電／電歪アクチュエータの製造方法の一例を示す概略工程説明図である。

図9(a)(b)は、図8(a)～図8(e)に示す従来の圧電／電歪アクチュエータの製造方法において、図9(a)は図8(d)のQ視端面図であり、図9(b)は図9(a)のN部の断面拡大模式図である。

図10(a)(b)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータをマイクロミラーデバイスに適用した場合の一例を示す断面図である。

図11は、本発明のセル駆動型アクチュエータを液体吐出デバイスに適用した場合の形状を示し、セル幅、及び、セル間隔が同一でなく、それぞれ、少なくとも2種類の長さを有するアクチュエータの一例を示す断面図である。

図12は、本発明のセル駆動型アクチュエータを液体吐出デバイスに適用した場合の形状を示し、スリットの幅を櫛歯先端に向けて変化させたアクチュエータの一例を示す斜視図である。

図13(a)(b)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータを搬送装置に適用した場合の形状を示し、図13(a)はスリットを一定幅で形成した場合の一例を示す断面図であり、図13(b)はスリットの幅を変化させた場合の一例を示す断面図である。

図14は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの停止状態と駆動状態の一例を示す断面図である。

図15は、従来の圧電／電歪アクチュエータの停止状態と駆動状態の一例を示す断面図である。

好ましい実施態様の説明

【0018】 以下に、本発明のセル駆動型アクチュエータ及び製造方法について、図面を参照しながら、実施の形態を具体的に説明するが、本発明は、これらに限定されて解釈されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、当業者の知識に基づいて、種々の変更、修正、改良を加え得るものである。

尚、本明細書中において、アクチュエータを駆動するとは、少なくとも1つのセルを駆動することを指し、セルを駆動するとは、そのセルを構成する駆動部を駆動電界をかけて変形させ、セルの体積変化を引き起こし、セル内に加圧状態あるいは減圧状態を導くことを指す。

【0019】 図1は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの一実施形態を示す斜視図である。セル駆動型アクチュエータ1は、基板2上に櫛歯6であって駆動部4である複数の圧電／電歪体が櫛歯状に形成され、隣接する2つの櫛歯6の間のスリット5を蓋板7で閉じて、概ね長方形形状のセル3を形成している。

例えば、このセル駆動型アクチュエータ1の櫛歯先端の開口部を、ノズル8を有するノズル板9で閉塞し、セル3を液体室として用いる液体吐出デバイス100を構成し、圧電／電歪材料からなる駆動部4である櫛歯6の分極電界方向と同じ方向に駆動電界をかけて、櫛歯6を変形させることによって、セル3の体積を変化させ、セル3に充填された液体を吐出させることが出来る。液体吐出デバイス100は、例えば、インクジェットプリンタのヘッドや、バイオテクノロジー分野における微量液体の混合・反応操作や遺伝子構造の解析に必要なDNAチップの製造や、半導体製造用のコーティング工程において用いられる微小液滴吐出装置への適用が可能である。

【0020】 本発明のセル駆動型アクチュエータ1においては、従来の圧電／電歪アクチュエータのように、基板、櫛歯が、蓋板と一体化されて、複数のセルが共通の蓋板で形成されたり、1つの櫛歯即ち駆動部が2つのセルの駆動部を兼ねておらず、隣接する2つの櫛歯6間の基板2と対向する面を蓋板7で塞いでなるセル3が、隣接するセル3と独立して形成されているところに特徴がある。又、駆動部4を構成する圧電／電歪体の分極電界と駆動電界とが、同一方向であることにも特徴がある。

【0021】 セル3が独立した蓋板7で閉じられ、隣接するセル3と独立して



形成されている構造であるが故に、セル3が、個々に、他のセル3から全く独立して駆動し得る。又、隣接するセル3に同じ動作をさせることが出来る。

【0022】 図14は、本発明のセル駆動型アクチュエータ1の停止状態と駆動状態の一例を示す断面図である。駆動電界がOFFの時には、圧電／電歪体である駆動部4は変形しておらず、所定の駆動部4に対して駆動電界をONにすると駆動部4が変形する。このとき、セル3は、基板2に配列された2つの駆動部4と、その2つ駆動部4基板2と対向する面のみを塞ぐ蓋板7で形成されている。従って、セル3の駆動と、隣接するセル3の駆動は、互いに変位量を制限することなく独立して行われ、図14に示されるように、隣接する2つのセル3に同じ動作をさせることが可能である。従って、例えば、同じ変位量を得るために、従来より電界強度は小さくて済む。

【0023】 又、例えば、セル駆動型アクチュエータ1を、上記した液体吐出デバイス100として用いた場合に、隣接するセル3から同時に液体を吐出させることが出来ることから、被吐出体に最小の間隔で液体を吐出させるために、従来よりセル3の駆動回数が少なくて済み、液体吐出処理速度の向上が図れる。より詳細には、液体吐出デバイス100をDNAチップの生産に用いた場合に、製造コストをより低減させることが可能となる。

【0024】 更に、駆動部4を構成する圧電／電歪体の分極電界と駆動電界とが、同一方向であることから、製造工程において、仮の分極用電極を作製し電界をかける必要がなく、スループットの向上が図れる。又、分極処理に関わりなく、キュリー温度以上の高い温度での加熱を伴う製造プロセスが適用が可能である。従って、アクチュエータを、例えば回路基板に固定・結線する際に、はんだリフロー等によるはんだ付けや、熱硬化型接着が実施可能であり、アクチュエータを適用した製品の製造工程を含め、更に、スループットの向上が導かれ、製造コストの低減が図れる。

【0025】 そして、高い電界強度で駆動しても、分極状態が変化してしまうことがなく、むしろ、より好ましい分極状態となり得て、安定して高い歪み量を得ることが出来る。従って、よりコンパクトにすることが出来、アクチュエータとして好ましい。

【0026】 セル駆動型アクチュエータ1においては、セルの面の輪郭度が、概ね $8\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、又、セルを形成し対向する圧電／電歪体即ち駆動部の壁面の凹凸量が、概ね $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、更には、セルを形成し対向する圧電／電歪体即ち駆動部の壁面の表面粗さ $R_t$ が、概ね $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これらのうち、少なくとも何れか1つの条件に合うアクチュエータであれば、セルを構成する駆動部のセル内壁面が平滑であるので、駆動時に電界集中や応力集中が生じ難く、各セルで安定した駆動動作を実現することが出来る。

【0027】 尚、面の輪郭度は、日本工業規格B0621「幾何偏差の定義及び表示」に示されている。面の輪郭とは機能上定められた形状をもつように指定した表面であって、面の輪郭度とは理論的に正確な寸法によって定められた幾何学的輪郭からの面の輪郭の狂いの大きさをいう。本発明において示すセルの面とは、上記したセルを構成する駆動部のセル内壁面を指す。

【0028】 図1に示すセル駆動型アクチュエータ1においては、1つのセルにおいて、そのセルを形成し隣接する圧電／電歪体間の最短距離、即ちセル幅 $W$ と、基板と盖板との最短距離、即ちセル高 $H$ との比が、換言すれば、セルのアスペクト比 $W:H$ が、概ね $1:2\sim 1:40$ であることが好ましく、セルを形成し隣接する圧電／電歪体間の最短距離、即ちセル幅 $W$ が、概ね $60\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは、セルのアスペクト比 $W:H$ が、 $1:10\sim 1:25$ 、セル幅 $W$ が、 $50\mu\text{m}$ 以下である。少なくとも何れか1つの条件に合うアクチュエータであれば、更に好ましくは2つの条件がともに合うアクチュエータ、即ち薄く背の高いアクチュエータであれば、アクチュエータとして、より高出力化を図ることが容易であり、又、高密度化が図れ、よりコンパクトなアクチュエータを実現することが出来る。

【0029】 又、図1に示すセル駆動型アクチュエータ1においては、1つのセルにおいて、そのセルと隣接するセルとの間隔と、基板と盖板との最短距離との比が、概ね $1:2\sim 1:40$ であることが好ましく、セルと隣接するセルとの間隔、即ちセル間隔 $L$ が、概ね $50\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは、セルと隣接するセルとの間隔と、基板と盖板との最短距離との比は、 $1:$

10～1:25、セル間隔Lが、30 $\mu$ m以下である。少なくとも何れか1つの条件に適うアクチュエータであれば、更に好ましくは2つの条件がともに適うアクチュエータであれば、セルと隣接するセルとが独立していながら、1つのアクチュエータに多くのセルを備えることが出来、よりコンパクトなアクチュエータを実現することが可能である。

【0030】 従って、図1に示す本発明のセル駆動型アクチュエータ1を、例えば、液体吐出デバイス100として用いた場合に、隣接するセル3から同時に液体を吐出させることが出来るとともに、従来の、1つの駆動部が2つのセルの駆動部を兼ねる構造のアクチュエータと比べても、被吐出体に、より高密度に液体を吐出させることが可能である。

【0031】 以下、引き続き適用例を掲げて、図面を参酌しながら、本発明のセル駆動型アクチュエータについて説明する。

図11は、本発明のセル駆動型アクチュエータを液体吐出デバイスに適用した他の例を示す断面図であり、セルを形成し隣接する圧電／電歪体の間隔、即ち、セル幅Wと、及び、セルと隣接するセルとの間隔、即ち、セル間隔Lとが、それぞれ固定された長さではなく、各々少なくとも2種類の間隔を有している。こうすることで、被吐出体の望ましい位置に、所望の量の液滴を吐出することが容易となる。

【0032】 又、図12は、本発明のセル駆動型アクチュエータを液体吐出デバイスに適用した更に他の例を示す断面図である（蓋板は図示しない）。櫛歯状の圧電／電歪体のそれぞれの幅が、即ち、各々の櫛歯126の幅が、櫛歯奥に比べて櫛歯先端が幅広になるように形成されている。反対に、櫛歯先端において、セルを構成するスリット125は狭く形成されている。このように、櫛歯先端部を幅広に形成することで、櫛歯先端面に接着するノズル板（図12では示さず、図1で示した。）との接合部の圧電変形応力を小さく出来、別途部材を介在させることなく長寿命化を図ることが可能である。尚、同様の効果は、電極形成時に櫛歯先端面から所定の距離までマスキングし、電極のない領域を残すことでも得られる。

【0033】 図12に示す例のように、本発明のセル駆動型アクチュエータに

においては、櫛歯の幅を、櫛歯奥から櫛歯先端に向けて変化させることにより、目的に応じて最適なスリットの幅を有する最適な特性のアクチュエータを提供することが出来る。他の例として、液体吐出デバイスに適用した場合に、より適切な液体流路形状を形成可能であることが挙げられる。

【0034】 図13(a)、図13(b)は、本発明のセル駆動型アクチュエータを搬送装置に適用した場合を示す(蓋板は図示せず。なお、蓋板は外すことも可能である。)。図13(a)は、スリットの幅が一定になるように、櫛歯である駆動部134を形成し、一定速度での搬送を可能としたものであり、図13(b)は、スリットの幅に変化を持たせるように、櫛歯である駆動部134を形成し、搬送速度が変化するものを示している。搬送部品130は、図13(a)に示すように各々の駆動部134に電界をかけ、駆動部134が伸縮し矢印の方向に変形して、駆動部全体として波打つように変形させることで、その波に裁置した部品を載せるようにして搬送することが可能である。微細加工部品の製造工程においては、その搬送方法が問題となっており、このようにセル駆動型アクチュエータで搬送装置を形成すれば、マイクロマシンの搬送をスムーズに行うことが容易となる。

【0035】 更に、本発明のセル駆動型アクチュエータは、例えば、光通信網に用いられ光信号の導波路を切り換える光スイッチや、プロジェクタ部品や、CD-R/RW装置に用いられるレーザーヘッドを構成するマイクロミラー等に代表される光を反射するミラーの方向を変化させるアクチュエータとして利用することも可能である。

【0036】 図10(a)、図10(b)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータをマイクロミラーデバイスに適用した場合の一例を示す断面図であり、異なる方向へ光を反射させるべく、光が当たるマイクロミラー161の面の方向を変化させた状態を示している。マイクロミラーデバイス160は、基板162上に圧電/電歪体である複数の駆動部164が配置されていて、例えば、2~4つの駆動部164毎に1枚のマイクロミラー161が取り付けられ、電界をかけられた所定の駆動部164が伸縮することにより、マイクロミラー161の角度が変わり、光が反射する方向を変化させ得る。

【0037】 次に、本発明のセル駆動型アクチュエータの製造方法について、説明する。製造方法には2通りがある。

セル駆動型アクチュエータの第1の製造方法の概略工程の一例を、図4(a)～図4(e)に示す。これは、パンチとダイを用いた製造方法であって、図4(a)で、圧電／電歪材料からなる所定枚数のグリーンシート16を、パンチにより各々櫛歯形状に打ち抜き加工して各グリーンシートにスリット孔15を開け、図4(b)で、基板2上に位置合わせして積層して、所定の厚さを有する櫛歯状の圧電／電歪体を形成する過程を含む製造方法である。その後、例えば、図4(c)で、焼成して一体化し、図4(d)で、分極処理して、図4(e)で、電極19等を形成する。グリーンシートの積層時の位置合わせ方法は、例えば、グリーンシートの外形と、概ね同一の内形を有する枠内に、前記グリーンシートを順次重ねるか、若しくは、ガイドピンを立てて、前記グリーンシートに予め開けられたガイド孔を通し順次重ねることにより位置合わせし、例えば加熱加圧して行うことが出来る。尚、この際に、蓋板も同材料のグリーンシートで形成し、積層し、焼成一体化してもよい。

【0038】 続いて、第2の製造方法について、図面に基づいて説明する。

図2(a)～図2(e)は、本発明に係るセル駆動型アクチュエータの第2の製造方法の一例を示す図であり、図2(a)～図2(d)は製造工程の概略を示し、図2(e)は完成したアクチュエータの概略を示している。

第2の製造方法は、先ず、図2(a)で、グリーンシート16(以下、単にシートともいう)にスリット孔15を形成するとともに、積層を後述する方法により同時に行い、シート16を積層して櫛歯を形成し、打ち抜きの終了とともに積層も完了させ、所定の厚さを有する櫛歯状の圧電／電歪体を形成する過程を含む製造方法である。次に、例えば、図2(b)で、別途用意したシートからなる基板2上に、櫛歯を形成するとともに積層したシートを載置し、図2(c)で、加熱加圧して各シートを密着させ、図2(d)で、焼成して全シート及び基板2を一体化して駆動部を完成させる。その後、スリット内の壁面に電極6を形成する等を経て、図2(e)の完成したセル駆動型アクチュエータを得る。尚、グリーンシート16は、ドクターブレード法等の周知のテープ形成手段によって形成す

ることが出来る。

【0039】 本発明のセル駆動型アクチュエータの第2の製造方法によれば、焼成前に櫛歯を形成するので、後にセルになり得るスリット壁面は焼成面で形成され、ダイサー等でスリット加工した場合のように、壁面にマイクロクラックや粒内破壊が生じることがなく、特性劣化が生じず、耐久性・信頼性を向上させることが出来る。又、加工中に角部の破損（チッピング）が発生し難いし、ダイサー加工がないため洗浄～乾燥工程が必要なくなる。

【0040】 図6（a）～図6（e）は、上記した第2の製造方法で行う打抜同時積層の具体的方法を示し、周囲にシート16の積層操作をするストリッパ11を配置したパンチ10とダイ12から成る金型を用いている。図6（a）は、ダイ12上に最初のシート16aを載せた打ち抜き前の状態を示し、図6（b）で、パンチ10及びストリッパ11を下降させて、シート16にスリット孔を打ち抜いて、櫛歯を形成している（第一の工程）。

【0041】 次に、2枚目のシート16bの打ち抜き準備に入るが、このとき図6（c）に示すように、最初のシート16aは、ストリッパ11に密着させて上方に移動させてダイ12から離す（第二の工程）。ストリッパ11にシート16を密着させる方法は、例えば、ストリッパ11に吸引孔を形成して真空吸引すること等で実施出来る。

又、2枚目のシート16bの打ち抜き準備に入るために、ダイ12からパンチ10及びストリッパ11を引き上げるが、この引き上げている途中は、パンチ10の先端部を、一緒に引き上げた最初のシート16aのスリット孔の中まで戻さないことが望ましく、又、止める際には、一緒に引き上げた最初のシート16aの最下部より僅かに引き込んだところで止めることが肝要である（第三の工程）。パンチ10を最初のシート16aの孔まで戻したり、完全にストリッパ11の中へ格納してしまうと、シート16は軟質であるため形成した孔が変形してしまい、シート16を積層して得られる櫛歯を形成した際に、その側面の平坦性が低下してしまう。

【0042】 図6（d）は、2枚目のシート16bの打ち抜き工程を示し、最初のシート16aをストリッパ11に密着させることで、ダイ12上に、2枚目

のシート16bを容易に載置でき、図6(b)の工程のように打ち抜き出来、同時に最初のシート16aに重ね合わせられる(第四の工程)。

そして、図6(c)、図6(d)の工程を繰り返して、打ち抜かれた最初のシート16aと2枚目のシート16bとを重ね合わせて、ストリップ11により引き上げ(第五の工程)、3枚目のシート16cの打ち抜き準備に入る。但し、この時も一緒に引き上げたシート16の最下部より僅かに引き込んだところで止めることが肝要である(第六の工程)。その後、第四の工程から第六の工程を繰り返して必要積層数のシート16の打ち抜き及び積層を繰り返す。

【0043】 図6(c)は、打ち抜きを終了した状態を示している。必要な枚数のシート16の打ち抜き及び積層が終了したら、ストリップ11によるシート16の保持を解除し、打ち抜き積層したシート16をストリップ11から引き離して取り出し可能としている。ストリップ11からの引き離しは、図示するように、ストリップ11下面に引離治具17を設けることで確実に行うことが出来る。以上述べた操作は、特願2000-280573に記載の製造方法を適用したものであり、この操作により所定の厚さを有するの櫛歯状マルチスリットの積層体を得ることが出来る。

例えば、この後、圧電/電歪材料であるグリーンシートからなる基板2上に、この積層体を重ね合わせ、加圧積層処理等を施してハンドリング可能な積層体となし、次いで、シートの特性に適した条件でその積層体を焼成一体化することで、セル駆動型アクチュエータを得ることが出来る。

【0044】 図5(a)は、図2(d)のP視端面図を示し、図5(b)は、図5(a)に示すスリット5壁面のM部を拡大した断面模式図を示している。本発明のセル駆動型アクチュエータの第2の製造方法によるグリーンシートの重ね合わせ精度の一例を掲げれば、厚さが $50\mu\text{m}$ 、ヤング率が $3.9\text{N}/\text{mm}^2$ のグリーンシートを、スリット幅 $50\mu\text{m}$ 、櫛歯幅 $30\mu\text{m}$ となるように、櫛歯状に打ち抜きし、10枚積層した場合に、焼成後の各層間のズレ量は、最大で $4\mu\text{m}$ 、表面粗さ $R_t$ は概ね $7\mu\text{m}$ である。図示するように、櫛歯側面を凹凸なく滑らかなもの出来る。尚、焼成後のスリット幅は、焼成収縮により約 $40\mu\text{m}$ であった。

【0045】 このように、パンチとダイを用いてグリーンシートにスリット孔を形成すると同時にグリーンシートの積層を行い、パンチ自体をグリーンシートの積層位置合わせ軸として使用して、パンチにより打ち抜いたスリット孔の変形を防止するため、スリット孔の変形が発生せず、グリーンシート積層間のズレ量を $5\mu\text{m}$ 未満に抑えることが出来、高い精度で積層し、凹凸の少ないスリット壁面を形成することが可能である。そのため、スリット幅が $70\mu\text{m}$ 未満の櫛歯であっても、 $\lambda$ 、アスペクト比 $10\sim 25$ 程度の、高アスペクト比な、後にセルを形成するスリットを、容易に作成出来、優れた特性のアクチュエータを得ることが出来る。

又、櫛歯間のスリット壁面にマイクロクラックや粒内破壊粒子がないので、圧縮残留応力による特性劣化が生じることが無いし、上記の第2の製造方法ではシートを移動させるための治具や積み重ねるスペースが必要ないため、製造ラインも簡略化でき、低コストでの製造が可能である。

【0046】 更に、上記の第1及び第2の製造方法では、櫛歯状に加工後に焼成するので、スリット幅は、シート打ち抜き時点では、金型のパンチ加工幅とほぼ同等であるが、焼成時に収縮するので、薄肉加工スリットと焼成収縮の組み合わせで、幅が $40\mu\text{m}$ 以下の微細スリットを形成することも可能であるし、金型の形状を変更する等の打ち抜き金型の設計次第で、スリットは直線以外であっても容易に形成出来、用途に応じた最適な形状を実現することが出来る。

【0047】 図3(a)～図3(e)は、本発明のセル駆動型アクチュエータの第2の製造方法の他の一例を示している。

先ず、図3(a)で、各シート16の櫛歯状ではないスリット孔25の形成と積層を同時に行い積層体を得て、シート16の孔開け及び積層が終了したら、図3(b)で、グリーンシート16から成る基板2上に、その積層体を重ね合わせ、図3(c)で、例えば加熱加圧して各層を密着させ、図3(d)で、焼成一体化する。ここまでの製造方法は図2の製造方法と同様であるが、この例では、打ち抜きするスリット孔25は両端が閉塞された長孔であり、焼成した後、図3(e)で、一端を切除して櫛歯状に形成する。その後、電極等を形成することで完成となる。



このような、直接、櫛歯を打ち抜かず、櫛歯両端を連結して積層させる方法においては、焼成後に端部除去加工が必要であるため、除去加工部の洗浄～乾燥工程が必要となるものの、各シートの櫛歯部分の重ね合わせ精度を、更に上げることが可能である。

【0048】 以上詳述したように、本発明によれば、従来の第1～第8の問題が解決され、高温加熱プロセスが適用出来、低コストで量産可能であって、スリット部分が直線形状以外のセルを有し、スリット部分が $60\mu\text{m}$ 以下の幅のセルを有し、又、高アスペクト比なセルを有し、高い電界強度で駆動出来得て、更には、小さな電界強度で、より大きな変位を実現し得る圧電／電歪効果を原理とするセル駆動型アクチュエータ及び製造方法が提供される。

## 請求の範囲

1. 基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、前記圧電／電歪体の変位により駆動する圧電／電歪アクチュエータであって、

隣接する2つの前記圧電／電歪体間の、前記基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されていることを特徴とするセル駆動型アクチュエータ。

2. 前記圧電／電歪体の分極電界と駆動電界とが、同一方向である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

3. 前記セルの面の輪郭度が、略 $8\mu\text{m}$ 以下である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

4. 前記セルを形成し隣接する圧電／電歪体間の最短距離と、前記基板と蓋板との最短距離との比が、略 $1:2\sim 1:40$ である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

5. 前記セルと隣接するセルとの間隔と、前記基板と蓋板との最短距離との比が、略 $1:2\sim 1:40$ である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

6. 前記セルを形成し隣接する圧電／電歪体間の最短距離が、略 $60\mu\text{m}$ 以下である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

7. 前記セルと隣接するセルとの間隔が、略 $50\mu\text{m}$ 以下である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

8. 前記セルを形成し対向する圧電／電歪体の壁面の表面粗さ $R_1$ が、略 $10\mu\text{m}$ 以下である請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

9. 前記櫛歯状の圧電／電歪体の幅が、櫛歯奥から櫛歯先端に向けて変化している請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

10. 前記セルを形成し隣接する圧電／電歪体の間隔、乃至、前記セルと隣接するセルとの間隔が、少なくとも2種類の間隔を有する請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータ。

11. 請求項1に記載のセル駆動型アクチュエータを用いる液体吐出デバイスであって、

セルを液体加圧室とし、圧電／電歪体の分極電界と同一方向に駆動電界をかけて前記圧電／電歪体を変位させ前記液体室を変形させて、前記液体室に充填された液体を、櫛歯先端方向に吐出可能とする液体吐出デバイス。

12. パンチとダイを用いた、基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、隣接する2つの前記圧電／電歪体間の、前記基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されているセル駆動型アクチュエータの製造方法であって、

圧電／電歪材料からなる複数のグリーンシートを用意し、

前記パンチにより、全ての前記グリーンシートにスリット孔を開け、

全てのグリーンシートを位置決めして積層し、櫛歯状の圧電／電歪体を形成する過程を含むことを特徴とするセル駆動型アクチュエータの製造方法。

13. パンチとダイを用いた、基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されてなり、隣接する2つの前記圧電／電歪体間の、前記基板と対向する面を、蓋板で塞いでなるセルが、隣接するセルと独立して形成されているセル駆動型アクチュエータの製造方法であって、

圧電／電歪材料からなる複数のグリーンシートを用意し、

前記パンチにより、第一のグリーンシートに第一のスリット孔を開ける第一の工程と、前記第一のスリット孔から前記パンチを抜き取らない状態で、前記第一のグリーンシートをストリップに密着させて引き上げる第二の工程と、前記パンチの先端部が引き上げた前記第一のグリーンシートの最下部より僅かに引き込む程度に、前記パンチを引き上げる第三の工程と、

前記パンチにより、第二のグリーンシートに第二のスリット孔を開ける第四の工程と、前記第二のスリット孔から前記パンチを抜き取らない状態で、前記第二のグリーンシートを前記第一のグリーンシートとともに引き上げる第五の工程と、前記パンチ先端部が引き上げた前記第二のグリーンシートの最下部より僅かに引き込む程度に、前記パンチを引き上げる第六の工程と、

以降、複数枚のグリーンシートを第四の工程から第六の工程を繰り返して積層し、櫛歯状の圧電／電歪体を形成する過程を含むことを特徴とするセル駆動型アクチュエータの製造方法。

## 開示内容の要約

基板上に複数の圧電／電歪体が櫛歯状に整列配置されており、前記圧電／電歪体の変位により駆動する圧電／電歪アクチュエータである。隣接する2つの前記圧電／電歪体間の、前記基板と対向する面を、蓋板で塞がれているセルが、隣接するセルと独立して形成されている。高い電界強度で駆動でき、小さな電界強度で、より大きな変位を実現し得る。

00000040-00000001